第39卷 第5期
2022年9月

干 旱 区 研 究
ARID ZONE RESEARCH

Vol. 39 No. 5
Sep. 2022

敦煌北山及马鬃山地区植物群落β多样性及其解释

李 星[1,2]，辛智鸣[1,2]，董 雪[1,2]，李永华[3,4,5]，段瑞兵[1,2]，
马 媛[1,2]，李 星[1,2]，李 宽[6]

（1. 中国林业科学研究院沙漠林业实验中心，内蒙古 磴口 015200；2. 内蒙古磴口荒漠生态系统国家定位观测研究站，内蒙古 磴口 015200；3. 中国林业科学研究院荒漠化研究所，北京 100091；4. 库姆塔格荒漠生态系统国家定位观测研究站，甘肃 敦煌 736200；5. 敦煌荒漠生态系统国家定位观测研究站，甘肃 敦煌 736200；6. 内蒙古大学生态与环境学院，内蒙古 呼和浩特 010000）

摘 要： β多样性反映了群落间物种组成差异。通过研究β多样性可以为区域的生物多样性保护提供科学依据。以敦煌北山及马鬃山地区为研究区域，采用系统布设样方法，共设置79个植物群落样地，探讨群落间β多样性及其组分，分析其与气候因素、土壤因素和地理距离之间的相互关系。结果表明：(1) 敦煌北山及马鬃山地区的植物群落存在地理衰减格局，群落间差异较大，β多样性以更替组分为主。(2) 气候、土壤和地理距离对β多样性及其更替组分有显著影响，其中气候因素影响最大，地理距离影响最小。(3) 通过多元回归分析(MRM)表明，气候因素、土壤因素与地理距离对β多样性及其更替组分作用存在差异，气候和土壤因素作用远大于地理距离。综上所述，敦煌北山及马鬃山地区植物群落β多样性及其更替组分是生境过滤和扩散限制共同作用的结果，生境过滤对其影响占有较大的比重，环境的异质性是影响该地区物种差异的重要因素。

关键词： 植物群落；β多样性；环境过滤；扩散限制；气候；敦煌北山及马鬃山

生物多样性是人类赖以生存的物质基础[1]。生物多样性保护即是满足人民群众对美好生态环境向往的重要措施，也是维护国家生态安全、提高生态文明水平的迫切需求[2]。生物多样性分为α多样性、β多样性和γ多样性[3]，β多样性表示不同群落间物种组成的差异，是联系α多样性和γ多样性的枢纽[4-5]，对β多样性的研究，不仅能理解物种与环境之间的关系，还能了解各种生态过程在群落构建中所起的作用。

环境和空间过程是影响群落构建的关键因子，其中生境过滤与扩散限制对β多样性的形成起着重要作用[6-7]，这2种过程分别涉及生态位理论和中性理论；生态位理论认为，环境因素决定着物种共存，每个物种都有自己适应的环境，在生境相似的地方物种组成一般会相似，随着生境的异质性变大，物种组成在空间上也会发生相应的变化[8]；气候作为重要的环境因子，对物种β多样性的作用一直是研究的热点[9-10]；此外，土壤因素也是影响植被特征的重要因子[11]。中性理论认为，随机扩散是群落构建的重要机制之一[6]，随着地理距离的增加，扩散能力出现衰减的现象；因此，普遍用地理距离来度量扩散限制[12]。众多研究证实，地理距离对群落β多样性的影响占有一定权重[9,12-14]。此外，海拔高度，既可能增加气候在内的环境要素的异质性，也可能增加物种空间隔离度，增加群落相异性[15]。随着研究的不断的深入，大量研究表明，在β多样性的形成过程中，生境过滤与扩散限制的共同作用可以促进β多样性格局的形成[16-18]。

荒漠戈壁的生境因子如地质、地貌和气候存在较大空间异质性，因此孕育而生了独特的植物资源[19]。荒漠戈壁植物群落结构简单，灌木占据着优势地位，草本层植物稀少[20]。目前，对于荒漠戈壁的研究相对较少，主要集中于植物群落特征及其生物多样性研究[20-21]，少量研究涉及灌木群落的物种

收稿日期： 2022-02-14； **修订日期：** 2022-06-28
基金项目： 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(CAFYBB2020ZE005)；国家自然科学基金项目(32101595)
作者简介： 李星(1994-)，男，助理工程师，主要从事植被生态学研究. E-mail: 1172303186@qq.com
通讯作者： 李永华. E-mail: lyhids@caf.ac.cn

多样性沿海拔梯度的变化，并得出物种多样性在海拔梯度上呈现出单峰分布格局[21-23]及负相关格局[24-25]。以往研究中，关于荒漠戈壁植物群落β多样性及其影响研究较少，本文通过对敦煌北山及马鬃山地区植被进行调查，分析该地区β多样性及其影响因素，定量分析气候、土壤和地理距离对植物群落β多样性的影响；将这些因素进行区分，深入揭示荒漠戈壁群落构建机制，以期为荒漠戈壁自然植物资源的生物多样性保护和可持续发展提供科学依据。

1 研究区概况

研究区位于河西走廊西端，行政区地跨敦煌市、瓜州县和肃北县属于甘肃省境内。地理位置介于92°09′~100°20′E，37°58′~42°48′N，海拔范围800~3200 m；南连阿尔金山，北至马鬃山，东临瓜州县，西至库姆塔格沙漠。该区域是内蒙古高原与青藏高原的交汇带，青藏高原生物区系与中亚生物区系交汇带，涵盖绿洲、湿地、沙漠、戈壁和山地。研究区年降水量差异较大，呈现出由南向北递减的趋势，阿尔金山年降水量最大，可达200 mm以上，马鬃山年降水量仅为39 mm；年潜在蒸发量在2000~4000 mm左右，昼夜温差较大，年均气温4~10 ℃，太阳辐射强，年日照总时数超过3000~4000 h，主要土壤类型为棕漠土[26]；主要优势植物为泡泡刺（*Nitraria sphaerocarpa*）、合头草（*Sympegma regelii*）和骆驼刺（*Alhagi sparsifolia*）。

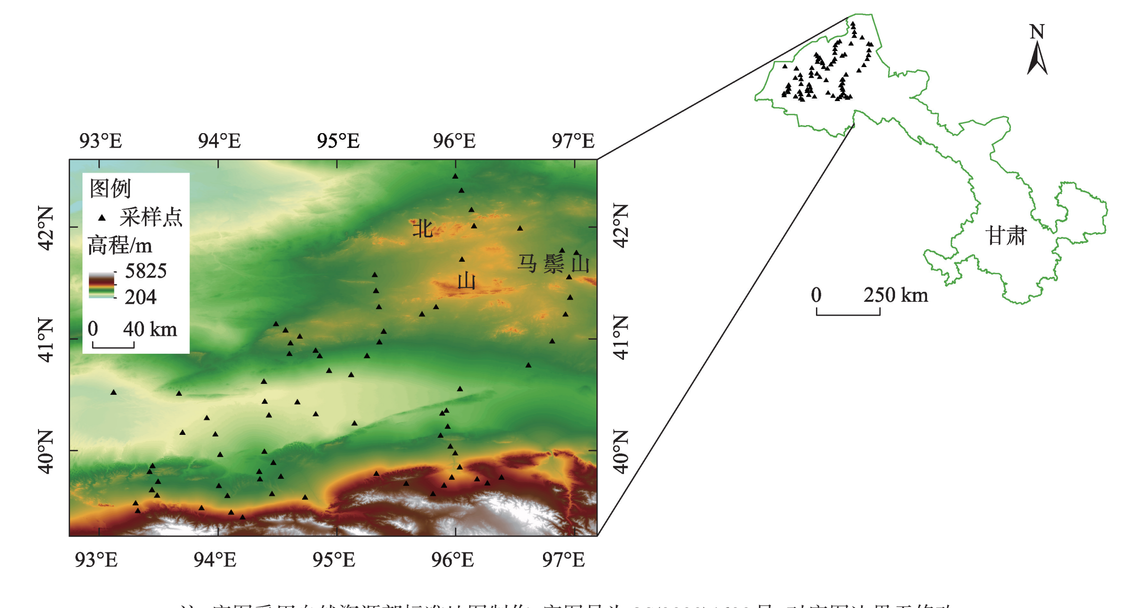
2 研究方法

2.1 样地设置与植被调查

于2018年8月和2019年6月，对荒漠区典型植物群落进行样方调查，在每个调查点布设1块100 m×100 m样地，每块样地内4个顶点及中心位置各布设1个10 m×10 m的灌木样方，记录每个样方内所有灌木层的植物种名、高度、冠幅；在样地中每个顶点、中心及每个顶点到中心的中部位置各布设1个1 m × 1 m的小样方进行草本层调查，记录所有草本植物的种名、高度、多度、丛幅；每块样地共布设5个灌木样方，9个草本样方。本研究共布设79个样地、395个灌木样方和711个草本样方（图1）。

2.2 土壤调查与取样

在每个调查点的每块样地中，随机选取3个灌木样方，在每个灌木样方内选3个采样点用土钻钻取0~10 cm土层样品，将每个灌木样方内3个取样点的表层土壤样品进行混合均匀后，取一定数量土壤样品用于土壤理化性质测定，每个样地3次重复；将混合均匀的土壤样品带回实验室风干，过2 mm土壤筛备用。测定土壤pH（水土比为2.5∶1）；全磷（STP）采用钼锑抗比色法；有机质（SOM）采用重铬酸钾氧化法；全氮（STN）采用凯氏定氮法；全钾



注：底图采用自然资源部标准地图制作，审图号为GS(2020)4630号，对底图边界无修改。

图1 研究区及采样点分布示意图

Fig. 1 Distribution of study area and sampling points

(STK)采用氢氟酸-高氯酸消煮-火焰光度计法测定。

2.3 气候数据获取

本文所需气候数据从世界气候数据网站(http://www. woridclim.org/)中获取,根据样地经纬度坐标,用R语言raster包中cell From XY函数确定采样点栅格位置提取气候因子,包括年均气温(MAT)、最暖月最高温(MTWM)、最冷月最低温(MTCM)、年均降雨量(MAP)、最湿润月降水量(PWM)、最干旱月降水量(PDM)、最湿润季降水量(PWQ)和最干旱季降水量(PDQ)。

2.4 数据分析

Bray-Curtis距离指数可以表征不同样地间物种组成的差异性,在计算时既考虑物种的有无,又考虑物种的多度[27]。群落组成相似性计算为1-Bray-Curtis距离指数,利用ln(x)转化的群落相似性与ln(x)转化后的地理距离进行距离衰减的线性回归,其距离衰减曲线的斜率反映物种周转率[28]。利用R中"betapart"工具包,将β多样性(β_{sor})分解为更替(β_{sim})和嵌套(β_{nes})两部分,进一步探讨2种过程对群落间物种组成差异的影响[29-30]。

Bray-Curtis距离指数:

总体: $$\beta_{BC}=\frac{b+c}{2a+b+c} \quad (1)$$

更替组分: $$\beta_{sim}=\frac{\min(b,c)}{a+\min(b,c)} \quad (2)$$

嵌套组分: $$\beta_{nes}=\beta_{sor}-\beta_{sim} \quad (3)$$

式中:a为群落中共有物种数;b、c为群落中特有种数。

对所获得的气候和土壤因子标准化之后获得综合气候和土壤矩阵,通过GPS获取的经纬度指标,计算不同样地间的地理距离;基于Mantel分析来检验气候、土壤和地理距离矩阵对植物群落β多样性及其组分的影响,并用Person相关性分析检验2个矩阵之间的相关性[31]。进一步利用ecodist程序包中基于距离矩阵的多元回归(MRM)方法来分析,单个环境因子的距离矩阵和地理距离矩阵对植物群落β多样性及组分的影响。为了避免多重共线性的影响,使用Hmisc包varclus函数评估环境变量的冗余度,将筛选后的环境因子构建距离矩阵。此外,通过MRM进行偏回归分析,进一步确定扩散限制和环境过滤在群落构建的贡献率。所有计算及绘图均通过R4.1.2软件完成。

3 结果与分析

3.1 敦煌北山及马鬃山地区植物群落β多样性及组分

通过对研究区79个样地中的样方调查分析得出,有种子植物57种,隶属16科45属。藜科(Chenopodiaceae)、菊科(Asteraceae)和禾本科(Poaceae)物种数较多,依次占总物种数的24.56%、21.00%和12.28%(表1);其中小乔木1种,为梭梭(*Haloxylon ammodendron*);灌木和半灌木共计29种;多年生草本19种,一年生草本8种。可见,研究区中植物群落的生活型以灌木、半灌木和多年生草本为主。将群落间相似性与地理距离进行对数转换,分析之间的关系;表明调查区域内群落物种相似性存在明显的地理衰减格局,曲线斜率为0.57(绝对值)(图2),说明该区域植物群落存在明显的物种更替现象。

采用Bray-Curtis距离指数进行计算结果表明,β多样性指数基本维持在0.75左右(图3),说明调查样地间相似性较低,物种组成差异较大。将β多样性指数分解为更替和嵌套之后发现,更替占比大,嵌套占比小。说明在研究区β多样性的2个组分之中,相比于嵌套,物种的更替更为重要,植物群落β多样性可能主要来自物种更替。

基于Mantel检验气候因素、土壤因素和地理距离对β多样性及其组分的影响,结果显示β多样性和更替与气候因素、土壤因素和地理距离均具有显著正相关关系,嵌套无显著影响(图4)。随着气候因素、土壤因素和地理距离的差异增加,群落间物种组成差异变大,植物群落β多样性也随之升高,更替与β多样性的变化保持一致。气候因素、土壤因素和地理距离的增加,对河西走廊西端的植物群落β多样性的影响,主要来自对群落间物种更替的影响,气候因素和土壤因素的影响相对地理距离影响较大。

3.2 环境因子和地理距离对β多样性及其组分的影响

使用R软件中Hmisc包里的varclus函数进行环境因子的筛选,避免多重共线性的影响。基于多元回归(MRM)分析环境因子和地理距离对β多样性及其组分的解释。筛选后的环境因子包括最冷月最低温(MTCM)、最干旱月降水量(PDM)、海拔(ALT)、

表1　敦煌北山及马鬃山地区植物科、属、种组成

Tab. 1　Composition of families, genera and species of vegetation in Beishan and Manong area of Dunhuang

序号	科	属		种	
		数量/个	百分比/%	数量/个	百分比/%
1	藜科(Chenopodiaceae)	12	26.70	14	24.56
2	菊科(Asteraceae)	6	13.33	12	21.05
3	禾本科(Poaceae)	6	13.33	7	12.28
4	豆科(Fabaceae)	4	8.89	4	7.02
5	蒺藜科(Zygophyllaceae)	3	6.67	4	7.02
6	百合科(Liliaceae)	1	2.22	3	5.26
7	蓼科(Polygonaceae)	2	4.44	2	3.52
8	十字花科(Brassicaceae)	2	4.44	2	3.52
9	柽柳科(Tamaricaceae)	2	4.44	2	3.52
10	夹竹桃科(Apocynaceae)	1	2.22	1	1.75
11	景天科(Crassulaceae)	1	2.22	1	1.75
12	白花丹科(Plumbaginaceae)	1	2.22	1	1.75
13	麻黄科(Ephedraceae)	1	2.22	1	1.75
14	毛茛科(Ranunculaceae)	1	2.22	1	1.75
15	蔷薇科(Rosaceae)	1	2.22	1	1.75
16	石竹科(Caryophyllaceae)	1	2.22	1	1.75

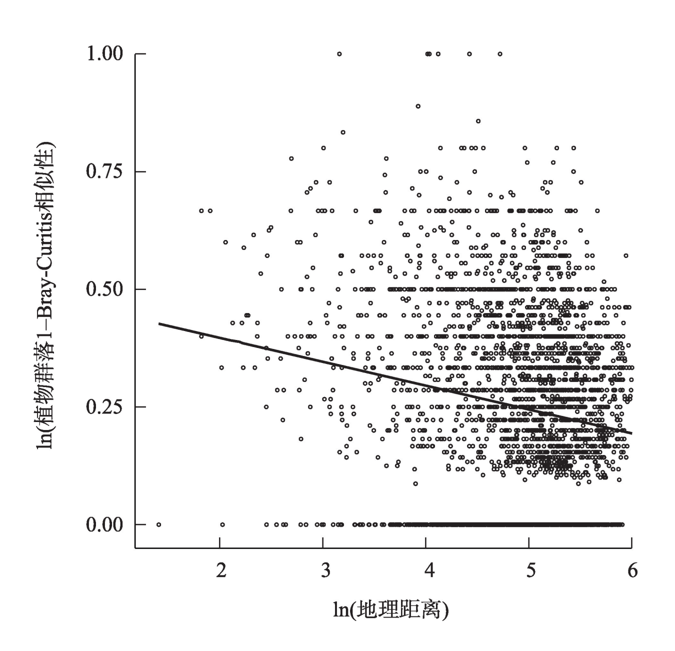


图2　敦煌北山及马鬃山地区植物群落β多样性距离衰减关系

Fig. 2　Distance-decay curves of plant community β diversity in the south fringe of Beishan and Manong area of Dunhuang

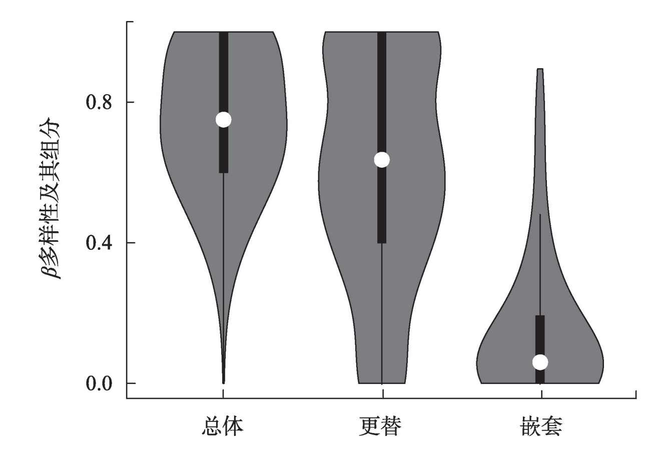


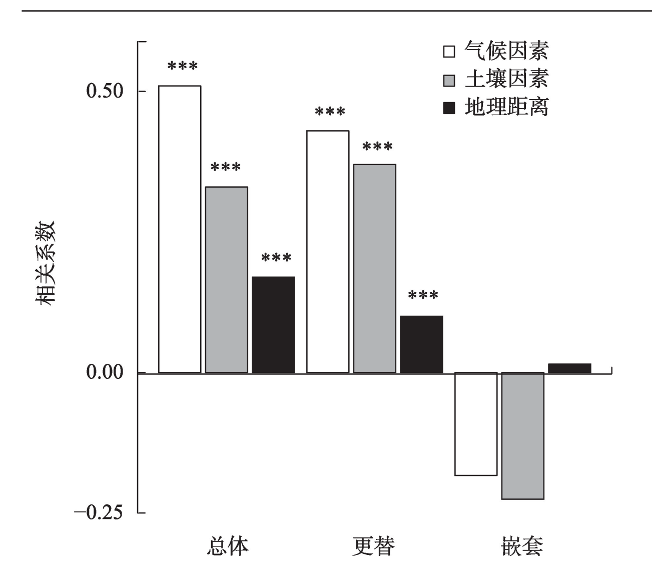
图3　基于Bray-Curtis距离指数算法的总体、更替和嵌套

Fig. 3　β_{BC}, β_{sim}, and β_{nes} statistics based on the Bray-Curtis exponential algorithm

土壤总氮(STN)、土壤总磷(STP)、土壤有机质(SOM)、土壤pH。以海拔、最冷月最低温表征的气候因素,以土壤有机质表征的土壤因素,对植物群落β多样性及其组分存在显著影响,其中海拔对其影响最大。以地理距离表征的扩散限制对群落β多样性及其组分存在影响,但低于气候和土壤的影响(图5)。总的来说,气候因素和土壤因素对植物群落β多样性及其组分影响较大,地理距离影响相对较小。

3.3　气候、土壤因素和地理距离对β多样性及组分的相对作用

基于MRM分析气候因素、土壤因素和地理距离对β多样性及其更替组分的相对影响,其中气候因素、土壤因素和地理距离单独解释β多样性的27.0%、13.5%和2.9%;气候因素和土壤因素的共同



注：***表示在$P<0.001$水平上显著。

图4 气候因素、土壤因素和地理距离对植物群落β多样性及组分之间Mantel检验的相关性

Fig. 4 Mantel test correlations of climate, soil and geographical distance on β diversity and composition of plant communities

作用解释32.0%，气候因素和地理距离共同作用解释17.0%，地理距离和土壤因素共同作用解释16.0%，三者共同作用解释33.0%；气候因素、土壤因素和地理距离对更替组分单独解释19.0%、15.0%和0.9%；气候因素和土壤因素共同作用解释25.9%，气候因素和地理距离共同作用解释10.0%，地理距离和土壤因素共同作用解释15.0%，三者共同作用解释26.0%（表2）。说明以气候因素和土壤因素表征的环境过滤主导河西走廊西端戈壁植物群落β多样性的形成，以地理距离表征的扩散限制也起到一定作用，二者共同作用促进群落构建。

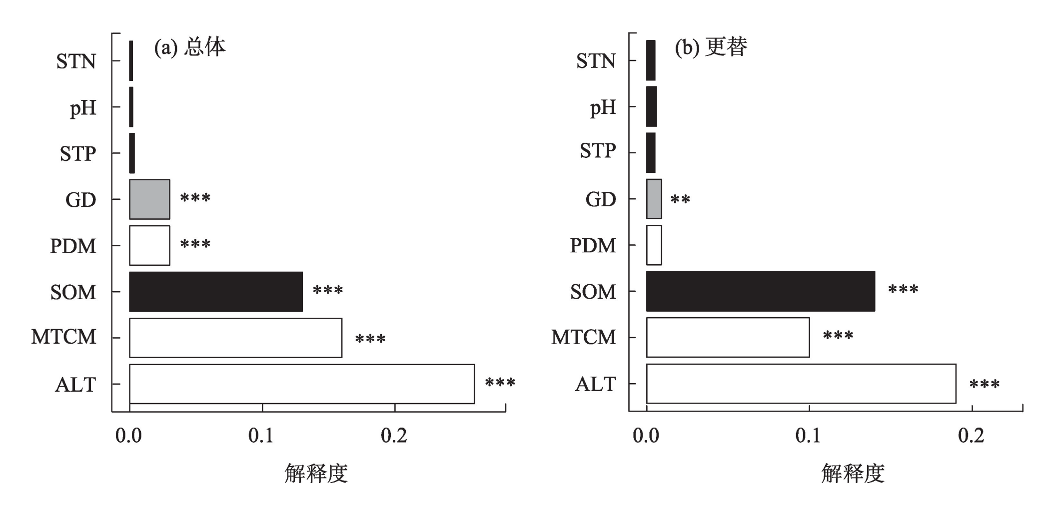
4 讨 论

4.1 敦煌北山及马鬃山地区β多样性及其组分

β多样性表示不同群落间物种组成变化，即与环境梯度或格局相关的群落分化程度[27,32]。通过对敦煌北山及马鬃山地区植物群落的调查，以Bray-Curtis距离指数表征β多样性，结果表明该地区植物群落差异较大（均值0.75）。为了量化β多样性的过程，将β多样性分解为更替和嵌套两部分，从而分析2种过程对β多样性的作用，有助于理解群落β多样性的形成机制[29]。将β多样性分解为更替和嵌套后，发现物种更替比大，这与在库姆塔格沙漠研究一致[13]。说明植物群落物种β多样性可能是物种在空间上更替产生的。此外，本研究发现，植物群落的物种相似性随着地理距离的增加而显著下降，存在明显的地理衰减模式，这在很多研究中得到类似结果[9,13]，说明植物群落β多样性可能受到扩散限制影响。

4.2 气候因素、土壤因素和地理距离对β多样性及其组分的影响

气候作为关键因素，对群落物种组成的影响在众多研究中已证实[10,13,33]。在本研究中，最冷月最低温对β多样性和更替分别解释16.0%和10.0%（图



注：ALT表示海拔；MTCM表示最冷月最低温；SOM表示土壤有机质；PDM表示最干旱月降水量；GD表示地理距离；STP表示土壤总磷；pH表示土壤pH值；STN表示土壤总氮；**表示在$P<0.01$水平上显著；***表示在$P<0.001$水平上显著。

图5 环境因子和地理距离对植物群落β多样性及组分的影响

Fig. 5 Effects of environmental factors and geographical distance on β diversity and composition in plant communities

表2　气候因素、土壤因素及地理距离对植物群落β多样性及更替组分的影响

Tab. 2　Effects of climatic factors, soil factors and geographical distance on β-diversity and turnover components of plant communities

影响因素	β多样性		更替	
	R^2	P	R^2	P
气候因素	0.27	<0.001	0.19	<0.001
土壤因素	0.13	<0.001	0.15	<0.001
地理距离	0.03	<0.001	0.01	<0.001
气候因素×土壤因素	0.32	<0.001	0.26	<0.001
气候因素×地理距离	0.17	<0.001	0.10	<0.001
土壤因素×地理距离	0.16	<0.001	0.15	<0.001
气候因素×土壤因素×地理距离	0.33	<0.001	0.26	<0.001

4)。海拔包含环境因子的综合影响,显著影响空间分布格局[34-35]。在对植物群落物种更替研究中,海拔也属于重要影响因素[16]。海拔是反映降雨、光辐射和气温的综合因子。有研究发现,海拔对库姆塔格沙漠南缘植物群落β多样性的解释18.9%,对更替的解释19.0%[13]。本研究的79个样地中海拔最大差值为2353 m,对β多样性的解释29.0%,对更替的解释18.8%,有较大的解释率。对于研究区植物群落物种组成而言,海拔高度的差异增大了物种在空间上的更替,这也可能与研究区南高北低、自西南向东北倾斜的地势,以及气候随海拔升高导致的垂直分异现象有关。有研究表明,在该区域内不同海拔梯度内灌木群落的建群种不一致,物种多样性在海拔梯度上呈现单峰分布格局[21]。

土壤是决定小尺度植物分布的重要因子,土壤质地、理化性质和微生物都会影响植被分布[36-37]。在本研究中,土壤有机质对β多样性和更替的解释分别为13.0%和14.0%,土壤对群落β多样性及更替组分有显著影响,对嵌套组分影响不显著(图4)。相对气候而言,土壤因素解释率较低,说明在大尺度上,荒漠土壤异质性对植被组成变化影响较小,这与在古尔班通古特沙漠研究结果相似[10]。

物种扩散与群落距离有关,以地理距离来度量扩散限制广泛应用于物种空间更替方面的研究[38]。本研究发现,随着地理距离的增加,群落间的物种相异性变大;进一步分析表明,地理距离对β多样性和更替的解释分别是3.0%和1.0%,远远低于气候和土壤因素(图4)。说明研究区地理距离的改变对植物群落物种组成有一定影响,但不是主要作用,这在库姆塔格沙漠和新疆艾比湖的相关研究中也得到类似结果[9,13]。

4.3 环境过滤和扩散限制对群落β多样性的相对作用

目前,普遍认为β多样性是由环境过滤和扩散限制共同作用而形成的[17,39]。生态位理论和中性理论是广泛认可的群落构建机制,本研究表明,生境过滤和扩散限制共同决定了敦煌北山及马鬃山地区植物群落β多样性格局的形成,这也表明以气候因素和土壤因素表征的环境过滤和以地理距离表征的扩散限制是群落β多样性及更替组分的重要驱动因素。但二者对β多样性及其更替组成的影响存在差异,气候因素、土壤因素和地理距离对β多样性的单独解释率分别为27.0%、13.5%和2.9%;对更替组分的单独解释率分别为19.0%、15.0%和0.9%(表2)。环境过滤作用远大于扩散限制,这在荒漠区β多样性研究中也得到过类似结果[9,13]。说明在环境贫瘠、物种结构简单的敦煌北山及马鬃山地区,环境过滤作用对β多样性的影响很大。在本研究调查中也发现,如马鬃山的剥蚀区域,土层薄,物种稀少,而在祁连山洪积扇的戈壁区域,土壤质地及水热条件好,物种相对比较丰富。此外,气候因素、土壤因素和地理距离一起解释了研究区域33.0%的β多样性,剩下的67.0%不能从这些变量中得到解释。有研究表明还存在未测量的因子起着重要作用,如群落的自身特性[26,40]、人为干扰[10]、研究尺度[41-42]等因素都会影响群落的β多样性。

5　结 论

通过对敦煌北山及马鬃山地区植物群落进行

调查与研究，证实了环境过滤和扩散限制对植物群落β多样性的影响作用，为该地区植物群落构建提供了理论支持。随着气候因素、土壤因素和地理距离的差异增大，敦煌北山及马鬃山地区的植物群落物种相异性指数也相应上升；在这3项因素中，气候因素单独解释率最高，土壤因素解释率次之，地理距离单独作用较弱。这些结果表明，河西走廊的群落物种β多样性及其更替组分是受环境过滤和扩散限制共同影响的结果，其中气候、土壤和海拔等环境因素比地理距离影响更大，植物群落β多样性及其更替组分受生境过滤影响较大，环境的异质性是影响该地区物种差异的重要因素。

参考文献(References):

[1] 马克平, 钱迎倩, 王晨. 生物多样性研究的现状与发展趋势[J]. 科技导报, 1995(1): 27-30. [Ma Keping, Qian Yingqian, Wang Chen. Present status and future of biodiversity studies[J]. Science & Technology Review, 1995(1): 27-30.]

[2] 崔书红. 加强生物多样性保护 实现人与自然和谐共生[J]. 环境与可持续发展, 2021, 46(6): 16-18. [Cui Shuhong. Strengthen biodiversity conservation to achieve the harmony between man and nature[J]. Environment and Sustainable Development, 2021, 46(6): 16-18.]

[3] Whittaker R H. Vegetation of the Siskiyou mountains, Oregon and California[J]. Ecological Monographs, 1960, 30(3): 279-338.

[4] Whittaker R H. Evolution and measurement of species diversity[J]. Taxon, 1972, 21(2-3): 213-251.

[5] Condit R, Pitman N, Leigh E G, et al. Beta-diversity in tropical forest trees[J]. Science, 2002, 295(5555): 666-669.

[6] Hubbell S P. The Unified Neutral Theory of Biodiversity and Biogeography (MPB-32)[M]. New Jersey: Princeton University Press, 2011.

[7] Tang Z, Fang J, Chi X, et al. Geography, environment, and spatial turnover of species in China's grasslands[J]. Ecography, 2012, 35(12): 1103-1109.

[8] 牛克昌, 刘怿宁, 沈泽昊, 等. 群落构建的中性理论和生态位理论[J]. 生物多样性, 2009, 17(6): 579-593. [Niu Kechang, Liu Yining, Shen Zehao, et al. Community assembly: The relative importance of neutral theory and niche theory[J]. Biodiversity Science, 2009, 17(6): 579-593.]

[9] Jiang L, Lv G, Gong Y, et al. Characteristics and driving mechanisms of species beta diversity in desert plant communities[J]. PloS one, 2021, 16(1): e0245249.

[10] 赵怀宝, 刘彤, 雷加强, 等. 古尔班通古特沙漠南部植物群落β多样性及其解释[J]. 草业学报, 2010, 19(3): 29-37. [Zhao Huaibao, Liu Tong, Lei Jiaqiang, et al. β diversity characteristic of vegetation community on south part of Gurbantunggut Desert and its interpretation[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2010, 19(3): 29-37.]

[11] Miki T, Kondoh M. Feedbacks between nutrient cycling and vegetation predict plant species coexistence and invasion[J]. Ecology Letters, 2002, 5(5): 624-633.

[12] Rominger A J, Miller T E X, Collins S L. Relative contributions of neutral and niche-based processes to the structure of a desert grassland grasshopper community[J]. Oecologia, 2009, 161(4): 791-800.

[13] 杨欢, 王寅, 王健铭, 等. 环境过滤和扩散限制对库姆塔格沙漠南缘植物群落β-多样性的影响[J]. 中国沙漠, 2021, 41(3): 147-154. [Yang Huan, Wang Yin, Wang Jianming, et al.Effects of environmental filtering and dispersal limitation on the β-diversity of plant communities in the southfringe of Kumtag Desert[J]. Journal of Desert Research, 2021, 41(3): 147-154.]

[14] Hu D, Jiang L, Hou Z, et al. Environmental filtration and dispersal limitation explain different aspects of beta diversity in desert plant communities[J]. Global Ecology and Conservation, 2022, 33: e01956.

[15] Qian H, Ricklefs R E. Disentangling the effects of geographic distance and environmental dissimilarity on global patterns of species turnover[J]. Global Ecology and Biogeography, 2012, 21(3): 341-351.

[16] Legendre P, Mi X, Ren H, et al. Partitioning beta diversity in a subtropical broad-leaved forest of China[J]. Ecology, 2009, 90(3): 663-674.

[17] Myers J A, Chase J M, Jiménez I, et al. Beta-diversity in temperate and tropical forests reflects dissimilar mechanisms of community assembly[J]. Ecology Letters, 2013, 16(2): 151-157.

[18] Bellier E, Grøtan V, Engen S, et al. Distance decay of similarity, effects of environmental noise and ecological heterogeneity among species in the spatio-temporal dynamics of a dispersal-limited community[J]. Ecography, 2014, 37(2): 172-182.

[19] 何芳兰, 刘世增, 李昌龙, 等. 甘肃河西戈壁植物群落组成特征及其多样性研究[J]. 干旱区资源与环境, 2016, 30(4): 74-78. [He Fanglan, Liu Shizeng, Li Changlong, et al. Study on composition and diversity of phytocoenosium in Gobi region of Hexi, Gansu[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2016, 30(4): 74-78.]

[20] 王健铭, 董芳宇, 巴海·那斯拉, 等. 中国黑戈壁植物多样性分布格局及其影响因素[J]. 生态学报, 2016, 36(12): 3488-3498. [Wang Jianming, Dong Fangyu, Bahai Nasra, et al. Plant distribution patterns and the factors influencing plant diversity in the Black Gobi Desert of China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(12): 3488-3498.]

[21] 董雪, 李永华, 辛智鸣, 等. 河西走廊西段荒漠戈壁灌木群落物种多样性的海拔格局[J]. 林业科学, 2021, 57(2): 168-178. [Dong Xue, Li Yonghua, Xin Zhiming, et al. Patterns of altitudinal distribution of species diversity of desert gobi shrub communities in West Hexi Corridor of China[J]. Scientia Sllvae Sinicae, 2021, 57(2): 168-178.]

[22] 王国宏. 祁连山北坡中段植物群落多样性的垂直分布格局[J]. 生物多样性, 2002, 10(1): 7-14. [Wang Guohong. Species diversity of plant communities along an altitudinal gradient in the middle section of northern slopes of Qilian Mountains, Zhangye, Gansu, China[J]. Biodiversity Science, 2002, 10(1): 7-14.]

[23] 朱源, 康慕谊, 江源, 等. 贺兰山木本植物群落物种多样性的海拔格局[J]. 植物生态学报, 2008, 32(3): 574-581. [Zhu Yuan, Kang Muyi, Jiang Yuan, et al. Altitudinal pattern of species diversity in woody plant communities of mountain Helan,northwestern China[J]. Journal of Plant Ecology, 2008, 32(3): 574-581.]

[24] Whittaker R H, Niering W A. Vegetation of the Santa Catalina Mountains, Arizona: A gradient analysis of the South slope[J]. Ecology, 1965, 46(4): 429-452.

[25] Glenn-Lewin D C. Species diversity in the North American temperate forests[J]. Vegetatio, 1977, 33: 153-162.

[26] 董雪, 李永华, 辛智鸣, 等. 河西走廊西段戈壁灌木群落多样性及其分布格局研究[J]. 干旱区地理, 2020, 43(6): 1514-1522. [Dong Xue, Li Yonghua, Xin Zhiming, et al. Gobi shrub species diversity and its distribution pattern in West Hexi Corridor[J]. Arid Land Geography, 2020, 43(6): 1514-1522.]

[27] 陈圣宾, 欧阳志云, 徐卫华, 等. Beta多样性研究进展[J]. 生物多样性, 2010, 18(4): 323-335. [Chen Shengbin, Ouyang Zhiyun, Xu Weihua, et al. A review of beta diversity studies[J]. Biodiversity Science , 2010, 18(4): 323-335.]

[28] Anderson M J, Crist T O, Chase J M, et al. Navigating the multiple meanings of β diversity: A roadmap for the practicing ecologist[J]. Ecology Letters, 2011, 14(1): 19-28.

[29] Baselga A. Partitioning the turnover and nestedness components of beta diversity[J]. Global Ecology and Biogeography, 2010, 19(1): 134-143.

[30] 斯幸峰, 赵郁豪, 陈传武, 等. Beta多样性分解: 方法、应用与展望[J]. 生物多样性, 2017, 25(5): 464-480. [Si Xinfeng, Zhao Yuhao, Chen Chuanwu, et al. Beta-diversity partitioning: Methods, applications and perspectives[J]. Biodiversity Science, 2017, 25(5): 464-480.]

[31] 谭珊珊, 叶珍林, 袁留斌, 等. 百山祖自然保护区植物群落beta多样性[J]. 生态学报, 2013, 33(21): 6944-6956. [Tan Shanshan, Ye Zhenlin, Yuan Liubin, et al. Beta diversity of plant communities in Baishanzu Nature Reserve[J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(21): 6944-6956.]

[32] Rosenzweig M L. Species Diversity in Space and Time[M]. Cambridgeshire United Kingdom: Cambridge University Press, 1995.

[33] 齐丹卉, 杨洪晓, 卢琦, 等. 浑善达克沙地植物群落物种多样性及环境解释[J]. 中国沙漠, 2021, 41(6): 1-13. [Qi Danhui, Yang Hongxiao, Lu Qi, et al. Biodiversity of plant communities and its environmental interpretation in the Otindag Sandy Land, China [J]. Journal of Desert Research, 2021, 41(6): 1-13.]

[34] Gaston K J. Global patterns in biodiversity[J]. Nature, 2000, 405 (6783): 220-227.

[35] Rahbek C. The role of spatial scale and the perception of large-scale species-richness patterns[J]. Ecology Letters, 2005, 8(2): 224-239.

[36] 朱媛君, 张璞进, 牛明丽, 等. 毛乌素沙地丘间低地主要植物群落土壤酶活性[J]. 生态学杂志, 2016, 35(8): 2014-2021. [Zhu Yuanjun, Zhang Pujin, Niu Mingli, et al. Soil enzyme activities of the main plant communities in inter-dune lowland of Mu Us Sandy Land[J]. Chinese Journal of Ecology, 2016, 35(8): 2014-2021.]

[37] 山丹, 朱媛君, 王百竹, 等. 呼伦贝尔沙地北部沙带植物群落分布格局与土壤特性的关系[J]. 中国沙漠, 2020, 40(1): 145-155. [Shan Dan, Zhu Yuanjun, Wang Baizhu, et al. Relationship between plant community distribution pattern and soil characteristics in northern sand belt of Hulunbuir Sandland[J]. Journal of Desert Research, 2020, 40(1): 145-155.]

[38] Blundo C, González-Espinosa M, Malizia L R. Relative contribution of niche and neutral processes on tree species turnover across scales in seasonal forests of NW Argentina[J]. Plant Ecology, 2016, 217(4): 359-368.

[39] Soininen J, McDonald R, Hillebrand H. The distance decay of similarity in ecological communities[J]. Ecography, 2007, 30(1): 3-12.

[40] 翁昌露, 张田田, 巫东豪, 等. 古田山10种主要森林群落类型的α和β多样性格局及影响因素[J]. 生物多样性, 2019, 27(1): 33-41. [Weng Changlu, Zhang Tiantian, Wu Donghao, et al. Drivers and patterns of α- and β-diversity in ten main forest community types in Gutianshan, eastern China[J]. Biodiversity Science, 2019, 27(1): 33-41.]

[41] Zhang J L, Swenson N G, Chen S B, et al. Phylogenetic beta diversity in tropical forests: Implications for the roles of geographical and environmental distance[J]. Journal of Systematics and Evolution, 2013, 51(1): 71-85.

[42] Qian H, Kissling W D. Spatial scale and cross-taxon congruence of terrestrial vertebrate and vascular plant species richness in China [J]. Ecology, 2010, 91(4): 1172-1183.

β diversity and interpretation of plant communities in Beishan and Manongshan areas of Dunhuang

LI Xing[1,2], XIN Zhiming[1,2], DONG Xue[1,2], LI Yonghua[3,4,5], DUAN Ruibing[1,2], MA Yuan[1,2], LI Xing[1,2], LI Kuan[6]

(1. Experimental Center for Desert Forestry, CAF, Dengkou 015200, Inner Mongolia, China; 2. Inner Mongolia Dengkou Desert Ecosystem National Observation Research Station, Dengkou 015200, Inner Mongolia, China; 3. Institute of Desertification Studies, CAF, Beijing 100091, China; 4. Kumtage Desert Ecosystem National Observation Research Station, Dunhuang 736200, Gansu, China; 5. Dunhuang Desert Ecosystem National Observation Research Station, Dunhuang 736200, Gansu, China; 6. College of Ecology and Environment, Inner Mongolia University, Hohhot 010000, Inner Mongolia, China)

Abstract: β diversity reflects the different composition of species between communities and is prevalent topic in ecological research. Based on the community survey sites in Beishan and Manongshan areas of Dunhuang of Bray-Curtis index of 79 plants, this study analyzed the relationship between community and climatic factors, soil factors and geographical distance. The results showed a geographical decay pattern of plant communities in the Beishan and Manongshan areas of Dunhuang, and the β diversity was dominated by β_{sim}. The β diversity and its turnover components were significantly affected by climate, soil, and geographical distance. Multiple regression analysis (MRM) showed that climate, and soil factors and geographical distance affected β diversity and its turnover components differently, and the effects of climate and soil factors were more important than the geographical distance. These results indicated that β diversity of plant community species in the Beishan and Manongshan areas of Dunhuang resulted from habitat filtration and dispersal restriction. Species composition of communities differed greatly, and habitat filtration accounted for a large proportion of species turnover.

Keywords: plant communities; β diversity; environmental filtration; diffusion restriction; climate; in Beishan and Manongshan of Dunhuang